



ICOMOS
COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA A ANÁLISE E
RESTAURO DE ESTRUTURAS DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO

RECOMENDAÇÕES PARA A ANÁLISE, CONSERVAÇÃO E
RESTAURO ESTRUTURAL DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO



ICOMOS
COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA A ANÁLISE E
RESTAURO DE ESTRUTURAS DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO

Tradução para Português por:

Paulo B. Lourenço e Daniel V. Oliveira

Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil

Revisão e Comentários por:

Aníbal G. Costa, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

António S. Gago, Instituto Superior Técnico

Luís Marreiros, Instituto Português do Património Arquitectónico

Manuel Raposo, Direcção Geral de Edifícios e Monumentos Nacionais

S. Pompeu Santos, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

V. Córias e Silva, Grémio das Empresas de Conservação e Restauro do Património Arquitectónico



ÍNDICE

PREFÁCIO DA VERSÃO PORTUGUESA	5
OBJECTIVO DO DOCUMENTO.....	6
Parte I - PRINCÍPIOS	7
1. Critérios gerais.....	7
2. Investigação e diagnóstico.....	8
3. Medidas de consolidação e controlo.....	9
Parte II - GUIÃO.....	11
1. Critérios gerais.....	11
2. Aquisição de dados: Informação e investigação	12
2.1 Generalidades	12
2.2 Investigação histórica, estrutural e arquitectónica.....	13
2.3 Inspeção visual da construção	13
2.4 Investigação no local e ensaios de laboratório	14
2.5 Monitorização.....	15
3. O comportamento estrutural	15
3.1 Aspectos gerais.....	15
3.2 O esquema estrutural e os danos	16
3.3 As características dos materiais e os processos de degradação	16
3.4 As acções na estrutura e os materiais	17



ICOMOS
COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA A ANÁLISE E
RESTAURO DE ESTRUTURAS DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO

4. Diagnóstico e avaliação da segurança	19
4.1 Aspectos gerais.....	19
4.2 Identificação das causas (Diagnóstico)	21
4.3 Avaliação da segurança	21
4.3.1 O problema da avaliação da segurança	21
4.3.2 A análise histórica	22
4.3.3 A abordagem qualitativa	23
4.3.4 A abordagem analítica.....	24
4.3.5 A abordagem experimental	24
4.4 Decisões e relatório de avaliação	25
5. Danos estruturais, degradações dos materiais e medidas de intervenção.....	26
5.1 Aspectos gerais.....	26
5.2 Construção de alvenaria e terra	27
5.3 Madeira.....	30
5.4 Ferro e aço	31
5.5 Betão armado.....	32
ANEXO I - MEMBROS DO COMITÉ	34
ANEXO II - GLOSSÁRIO	36



RECOMENDAÇÕES PARA A ANÁLISE, CONSERVAÇÃO E **RESTAURO ESTRUTURAL DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO**

PREFÁCIO DA VERSÃO PORTUGUESA

O património arquitectónico representa um bem valioso considerando os aspectos culturais e também económicos. O turismo e o lazer serão certamente uma das indústrias mais importantes do 3º milénio. Em geral, a existência de um monumento ou conjunto monumental emblemático representa a atracção principal de um local e, simultaneamente, um gerador directo e indirecto de recursos financeiros.

A consciência tardia da importância da Herança Cultural leva a que, apesar dos investimentos consideráveis nesta área, os quais têm resultado num desenvolvimento técnico-científico notável, a compreensão exacta da realidade das construções antigas, bem como, a sua reabilitação e fruição adequada sejam ainda desafios muito importantes. Por outro lado, nos últimos anos, diversas construções antigas têm sofrido danos que representam perdas irreparáveis. Portugal teima em manter-se como um caso único na Europa, onde a reabilitação do património edificado possui uma expressão marginal no total do mercado da construção.

As construções degradam-se com o tempo pelo que a conservação e restauro do património é uma forma de desenvolvimento sustentável. Por outro lado, a sociedade civil actual exige a protecção do património de valor cultural e a sua transferência para as gerações vindouras, pelo que a conservação e restauro do património é também uma forma de cultura. Dada a multidisciplinaridade associada à conservação do património arquitectónico, espera-se que a tradução e ampla divulgação do presente documento possa contribuir para a melhoria das intervenções que será necessário realizar.

A tradução agora apresentada pretende reproduzir fielmente a versão original em língua inglesa, com um número mínimo de notas e comentários. A reflexão nacional durante o processo de revisão da tradução e o processo de apresentação pública, será transmitida ao ICOMOS para análise e possível inclusão numa futura revisão das recomendações a nível internacional.



ICOMOS
COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA A ANÁLISE E
RESTAURO DE ESTRUTURAS DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO

RECOMENDAÇÕES PARA A ANÁLISE, CONSERVAÇÃO E **RESTAURO ESTRUTURAL DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO**

OBJECTIVO DO DOCUMENTO

As estruturas do património arquitectónico, pela sua natureza e história intrínsecas (material e constituição), apresentam desafios específicos no diagnóstico e restauro que limitam a aplicação dos regulamentos e normas actuais sobre construções. As recomendações são não só desejáveis como, também, necessárias, de modo a estabelecer metodologias de análise racionais e métodos de intervenção apropriados ao contexto cultural.

Pretende-se que estas Recomendações sejam úteis a todos aqueles que estejam envolvidos em problemas de conservação e restauro, não podendo, de forma alguma, substituir o conhecimento específico adquirido em publicações culturais e científicas.

As Recomendações apresentadas neste documento são compostas por duas partes: Princípios, onde os conceitos básicos sobre conservação são apresentados; Guião, onde se debate as regras e a metodologia que os projectistas devem seguir. Apenas os Princípios possuem o estatuto de um documento aprovado / ratificado pelo ICOMOS.



Parte I - PRINCÍPIOS

1. Critérios gerais

- 1.1 A conservação, o reforço e o restauro do património arquitectónico requerem uma abordagem multidisciplinar.
- 1.2 O valor e a autenticidade do património arquitectónico não podem ser baseados em critérios fixos porque o respeito devido a cada cultura requer também que a sua herança física seja considerada dentro do contexto cultural ao qual pertence.
- 1.3 O valor de cada construção histórica não está apenas na aparência de elementos isolados, mas também na integridade de todos os seus componentes como um produto único da tecnologia de construção específica do seu tempo e do seu local. Desta forma, a remoção das estruturas internas mantendo apenas as fachadas não se adequa aos critérios de conservação.
- 1.4 Uma possível alteração de uso deve tomar em consideração todas as exigências de conservação e de segurança.
- 1.5 Qualquer intervenção numa estrutura histórica tem de ser considerada no contexto do restauro e conservação da totalidade da construção.
- 1.6 A especificidade das estruturas do património, com a sua história complexa, requer a organização de estudos e propostas em fases semelhantes às que são utilizadas em medicina. Anamnese, diagnóstico, terapia e controlo correspondem, respectivamente, à análise da informação histórica, identificação das causas de danos e degradações, selecção das acções de consolidação e controlo da eficácia das intervenções. De forma a assegurar a eficiência da utilização dos meios disponíveis e o impacto mínimo no património arquitectónico, é muitas vezes necessário repetir estas fases num processo iterativo.
- 1.7 Nenhuma acção deve ser empreendida sem se averiguar o benefício e o prejuízo prováveis para o património arquitectónico. Nos casos em que são necessárias medidas urgentes de protecção para evitar o colapso iminente das estruturas, essas medidas devem evitar a alteração permanente, ainda que reduzida, dos elementos estruturais.



2. Investigação e diagnóstico

- 2.1 Normalmente, uma equipa multidisciplinar, seleccionada de acordo com o tipo e a escala do problema, deve trabalhar em conjunto desde o início, isto é desde a inspecção inicial do local e a preparação do programa de investigação.
- 2.2 Normalmente, é necessário analisar em primeiro lugar os dados e a informação facilmente disponíveis. Apenas posteriormente, e se necessário, será estabelecido um plano de actividades detalhado e apropriado ao problema estrutural.
- 2.3 A compreensão completa do comportamento estrutural e das características dos materiais é necessária a qualquer projecto de conservação e restauro. É essencial recolher informação sobre a estrutura no seu estado original, sobre as técnicas e métodos utilizadas na sua construção, sobre as alterações posteriores e os fenómenos que ocorreram e, finalmente, sobre o seu estado presente.
- 2.4 Os sítios arqueológicos apresentam problemas específicos porque as estruturas têm que ser estabilizadas durante as escavações, quando o conhecimento não é ainda completo. As respostas estruturais para uma construção “redescoberta” podem ser completamente diferentes das respostas para uma construção “exposta”. Soluções estruturais urgentes nestes locais, requeridas para estabilizar a estrutura à medida que vai sendo escavada, devem respeitar a forma conceptual e o uso da construção completa.
- 2.5 O diagnóstico é baseado em informação histórica e em abordagens qualitativas e quantitativas. A abordagem qualitativa é baseada na observação directa dos danos estruturais e degradações dos materiais, como também na investigação histórica e arqueológica, enquanto que a abordagem quantitativa requer ensaios das estruturas e dos materiais, monitorização e análise estrutural.
- 2.6 Antes de se tomar uma decisão sobre a intervenção estrutural, é indispensável determinar anteriormente as causas de danos e degradações e, em seguida, avaliar o nível de segurança actual da estrutura.
- 2.7 A avaliação da segurança, constitui a etapa seguinte ao diagnóstico, é a fase em que a decisão sobre a possível intervenção é definida, sendo necessário conciliar a análise qualitativa com a análise quantitativa.
- 2.8 Frequentemente, a aplicação dos níveis de segurança adoptados no dimensionamento de construções novas requer medidas excessivas, quando não impossíveis. Nestes



ICOMOS

**COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA A ANÁLISE E
RESTAURO DE ESTRUTURAS DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO**

casos, outros métodos, adequadamente justificados, podem permitir diferentes abordagens sobre a segurança.

- 2.9 Toda a informação adquirida, o diagnóstico (incluindo a avaliação da segurança) e qualquer decisão sobre a intervenção, devem ser descritos em detalhe num “RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO”¹.

3. Medidas de consolidação e controlo

- 3.1 O tratamento deve ser dirigido à raiz das causas que provocaram os danos em vez dos sintomas.
- 3.2 A manutenção adequada pode limitar a necessidade de uma intervenção posterior.
- 3.3 A avaliação da segurança e a compreensão do significado histórico e cultural da construção² devem ser a base para as medidas de conservação e reforço.
- 3.4 Nenhuma acção deve ser empreendida sem se demonstrar que é indispensável.
- 3.5 Cada intervenção deve ser proporcionada aos objectivos de segurança fixados, devendo limitar-se a uma intervenção mínima que garanta a segurança e a durabilidade, com os menores danos possíveis para o valor patrimonial.
- 3.6 O projecto de intervenção deve ser baseado numa compreensão clara dos tipos de acções que foram a causa dos danos ou degradações (forças, acelerações, deformações, etc.), e das acções que irão actuar no futuro.
- 3.7 A escolha entre técnicas “tradicionais” e “inovadoras” deve ser decidida caso a caso, com preferência pelas técnicas que são menos invasivas e mais compatíveis com o valor patrimonial, tendo em consideração as exigências de segurança e durabilidade.
- 3.8 Por vezes, a dificuldade em avaliar os níveis reais de segurança e os possíveis benefícios das intervenções podem sugerir “um método observacional”, isto é, uma abordagem incremental, partindo de um nível mínimo de intervenção para uma possível adopção posterior de medidas suplementares ou correctivas.
- 3.9 Sempre que possível, as medidas adoptadas devem ser “reversíveis” para que possam ser removidas e substituídas por medidas mais apropriadas quando estiver disponível novo conhecimento. Quando as medidas adoptadas não forem

¹ “EXPLANORY REPORT” no original. (N. da T.).

² “Structure” no original. (N. da T.).



ICOMOS
COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA A ANÁLISE E
RESTAURO DE ESTRUTURAS DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO

totalmente reversíveis, as intervenções não devem comprometer intervenções posteriores.

- 3.10 As características dos materiais utilizados em trabalhos de conservação, restauro e reforço estrutural³ (em particular novos materiais) e a sua compatibilidade com materiais existentes devem ser completamente conhecidas. O conhecimento deve estender-se aos efeitos a longo prazo, para que os efeitos colaterais indesejáveis sejam evitados.
- 3.11 As qualidades únicas da construção e da sua envolvente, que resultam da sua forma original e de qualquer alteração posterior, não devem ser destruídas.
- 3.12 Qualquer intervenção deve, até onde for possível, respeitar a concepção e as técnicas de construção originais, bem como o valor histórico da estrutura e da evidência histórica que representa.
- 3.13 A intervenção deve ser o resultado de um plano integrado que dê o devido peso aos diferentes aspectos da arquitectura, estrutura, instalações e funcionalidade.
- 3.14 A remoção ou alteração de qualquer material histórico ou de características arquitectónicas valiosas deve ser evitada sempre que possível.
- 3.15 A reparação é sempre preferível à substituição.
- 3.16 Quando as imperfeições e alterações se tornaram parte da história da estrutura, estas devem ser mantidas, desde que não comprometam as exigências de segurança.
- 3.17 O desmonte e a reconstrução só devem ser efectuados quando exigidos pela natureza dos materiais e da estrutura, e / ou quando a conservação por outros meios resulte mais danosa.
- 3.18 As medidas que são impossíveis de controlar durante a execução não devem ser permitidas. Qualquer proposta para intervenção deve ser acompanhada por um programa de monitorização e controlo, a ser executado, sempre que possível, enquanto o trabalho está em desenvolvimento.
- 3.19 Todas as actividades de controlo e monitorização devem ser documentadas e mantidas como parte da história da construção.

³ “Restoration works” no original. (*N. da T.*).



Parte II - GUIÃO

1. Critérios gerais

A combinação do conhecimento científico e cultural com a experiência é indispensável para o estudo de todo o património arquitectónico. Apenas neste contexto, o guião pode ajudar a uma melhor conservação, reforço e restauro das construções. O objectivo de todos os estudos, investigações e intervenções é salvaguardar os valores históricos e culturais das construções como um todo e a engenharia estrutural representa o suporte científico necessário para obter este resultado. A conservação do património arquitectónico requer normalmente uma abordagem multidisciplinar, envolvendo uma variedade de profissionais e organizações. Este guião foi preparado para ajudar neste trabalho e para facilitar a comunicação entre os envolvidos.

Qualquer planeamento para a conservação estrutural requer tanto dados qualitativos, baseados na observação directa das degradações dos materiais e dos danos estruturais, pesquisa histórica etc., como também dados quantitativos baseados em ensaios específicos e modelos matemáticos do tipo dos utilizados na engenharia moderna. Esta combinação de abordagens torna muito difícil a elaboração de regras de projecto e regulamentos. Se a falta de recomendações claras pode resultar facilmente em ambiguidades e decisões arbitrárias, também os regulamentos preparados para o projecto de estruturas modernas são frequentemente aplicados de forma inapropriada a estruturas históricas. Por exemplo, o cumprimento dos regulamentos sísmicos e geotécnicos pode conduzir a medidas drásticas e frequentemente desnecessárias, que não consideram o comportamento estrutural real.

Os aspectos subjectivos envolvidos no estudo e na avaliação da segurança de uma construção histórica, as incertezas nos dados assumidos e as dificuldades no estabelecimento de uma avaliação precisa dos fenómenos podem conduzir a conclusões de fiabilidade incerta. Desta forma, é importante apresentar claramente todos estes aspectos, nomeadamente o cuidado colocado no desenvolvimento do estudo e a fiabilidade dos resultados, num RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO. Este relatório requer uma análise crítica e cuidada da segurança da estrutura, de forma a justificar as medidas de intervenção, e facilitará o juízo final sobre a segurança da estrutura e as decisões a tomar.



A avaliação de uma construção requer frequentemente uma abordagem holística, considerando a construção como um todo em vez de apenas avaliar elementos individuais.

2. Obtenção de dados: Informação e investigação

2.1 Generalidades

A investigação de uma estrutura requer uma abordagem interdisciplinar que ultrapassa simples considerações técnicas, uma vez que a investigação histórica pode descobrir aspectos que envolvem o comportamento estrutural, e que as questões históricas podem ser respondidas através da análise do comportamento estrutural. Desta forma, é importante formar uma equipa de investigação que inclua um leque de conhecimentos apropriados às características da construção e dirigida por um membro com experiência adequada.

O conhecimento da estrutura requer informação sobre a sua concepção, sobre as técnicas utilizadas na sua construção, sobre os processos de degradação e dano, sobre alterações que a tenham afectado e, finalmente, sobre o seu estado actual. Este conhecimento pode ser atingido pelas seguintes etapas:

- definição, descrição e compreensão do significado histórico e cultural da construção;
- descrição dos materiais e das técnicas originais da construção;
- investigação histórica abrangendo a vida completa da estrutura, incluindo tanto as modificações da sua forma, como quaisquer intervenções estruturais anteriores;
- descrição da estrutura no seu estado actual incluindo a identificação de danos, degradações e possíveis fenómenos em curso, adoptando formas de ensaio apropriadas;
- descrição das acções envolvidas, do comportamento estrutural e dos tipos de materiais.

Uma “pré-inspecção” tanto do local como da construção deve orientar estes estudos.

Uma vez que as etapas descritas podem ser todas realizadas com diferentes níveis de detalhe, é importante estabelecer um plano de actividades com adequada utilização dos recursos financeiros, proporcional à complexidade da estrutura e que também considere



o benefício real obtido através do conhecimento alcançado. Em alguns casos, é conveniente realizar estes estudos de forma faseada, começando pelo mais simples.

2.2 Investigação histórica, estrutural e arquitectónica

O objectivo da investigação histórica é compreender a concepção e a importância da construção, as técnicas e a mão-de-obra utilizadas na sua execução, as alterações posteriores tanto na estrutura como na envolvente e quaisquer ocorrências que possam ter causado danos. Os documentos utilizados nesta tarefa devem ser registados.

A fiabilidade das fontes deve ser verificada, o que representa uma forma de reconstruir a história da construção. A interpretação meticulosa das fontes é essencial para produzir informação fidedigna sobre a história estrutural de uma construção.

As hipóteses admitidas na interpretação de material histórico devem ser claramente identificadas. Deve ser prestada atenção especial a quaisquer danos, colapsos, reconstruções, acrescentos, alterações, trabalhos de restauro, modificações estruturais e quaisquer modificações no uso da construção que conduziram à sua condição presente.

Deve ter-se presente que os documentos utilizados neste processo foram normalmente elaborados para fins diferentes dos da engenharia estrutural e, desta forma, podem incluir informação técnica incorrecta e / ou podem omitir ou falsear aspectos-chave ou eventos que são importantes do ponto de vista estrutural.

2.3 Inspeção visual da construção⁴

A observação directa da estrutura é uma fase essencial do estudo, normalmente efectuada por uma equipa qualificada, tendo em vista fornecer um entendimento inicial da estrutura e indicar uma metodologia apropriada às investigações subsequentes. Os objectivos principais do levantamento incluem:

- identificar degradações e danos;
- determinar se os fenómenos estão ou não estabilizados;
- decidir se existe ou não risco imediato e, se necessário, definir medidas urgentes a serem tomadas;
- identificar quaisquer efeitos do meio ambiente sobre a construção.

⁴ “Survey of the structure” no original. (*N. da T.*).



O estudo de deficiências estruturais começa pelo mapeamento dos danos visíveis. Durante este processo, a interpretação da informação recolhida deve ser utilizada para guiar o levantamento, e o perito deve estar a desenvolver, desde logo, uma ideia de possíveis comportamentos estruturais, de forma que os aspectos críticos da estrutura possam ser examinados em maior detalhe. Os desenhos de inspecção devem representar os diferentes tipos de materiais, indicar quaisquer degradações, irregularidades estruturais e danos, prestando atenção especial aos padrões de fendilhação e aos fenómenos de esmagamento.

As irregularidades geométricas podem ser o resultado de deformações prévias, podem indicar descontinuidades entre diferentes fases construtivas ou podem indicar alterações da tipologia estrutural.

É importante descobrir a influência do meio ambiente nos danos da construção, porque estes podem ser agravados pela deficiente concepção e / ou execução iniciais (por exemplo, ausência de drenagem, condensações, humidade ascensional, etc.), pelo uso de materiais inadequados e pela deficiente manutenção subsequente.

A observação de áreas onde os danos estão concentrados, em resultado de compressões elevadas ("zonas de esmagamento") e tracções elevadas ("zonas de fendilhação ou de separação de elementos"), e a direcção das fendas, juntamente com uma investigação das condições do terreno, podem indicar as causas desses mesmos danos. Esta observação pode ser complementada com informação obtida através de ensaios específicos.

2.4 Investigação no local e ensaios em laboratório

A programação dos ensaios deve ser baseada num entendimento claro dos fenómenos cuja compreensão é mais relevante. Os ensaios tentam normalmente identificar as características mecânicas (resistência, deformabilidade, etc.), físicas (porosidade, etc.) e químicas (composição, etc.) dos materiais, as tensões e deformações da estrutura, a presença de descontinuidades na estrutura, etc.

Em regra, a programação dos ensaios deve ser dividida em fases, efectuando primeiro a aquisição dos resultados fundamentais e prosseguindo com uma análise mais detalhada através de ensaios baseados numa avaliação das implicações dos resultados iniciais. Devem ser preferidos ensaios não-destrutivos àqueles que envolvem quaisquer



alterações na estrutura. Se os ensaios não-destrutivos forem insuficientes, é necessário avaliar o benefício a obter com a realização de aberturas de sondagem e com pequenas intervenções na estrutura, tomando em consideração a perda de material com valor cultural (análise custo-benefício).

Os ensaios devem ser sempre realizados por pessoal qualificado, capaz de avaliar correctamente a fiabilidade dos ensaios, e as implicações dos resultados devem ser cuidadosamente analisadas. Se possível, devem ser utilizados métodos diferentes, comparando os respectivos resultados entre si. Também pode ser necessário realizar ensaios em amostras seleccionadas, recolhidas da estrutura.

2.5 Monitorização

A observação estrutural durante um período de tempo pode ser necessária, não só para obter informação útil quando se suspeita de fenómenos não estabilizados, mas também durante um processo faseado de intervenção estrutural. Durante esta última, o comportamento monitorizado em cada fase e os dados recolhidos serão a base de quaisquer trabalhos adicionais (abordagem baseada na observação).

Normalmente, os sistemas de monitorização têm como objectivo o registo de alterações de deformações, larguras de fenda, temperatura, etc. A monitorização dinâmica é usada para registar acelerações, como as que ocorrem em zonas sísmicas.

A monitorização pode também assumir a função de alarme.

A forma mais simples e mais económica para monitorizar fendas consiste na colocação de testemunhos ou fissurómetros. Alguns casos requerem o uso de sistemas de monitorização computadorizados, para registar os dados em tempo real.

Como regra geral, o uso de um sistema de monitorização deve ser sujeito a uma análise custo-benefício, para que sejam recolhidos apenas os dados estritamente necessários para revelar a evolução dos fenómenos.

3. O comportamento estrutural

3.1 Aspectos gerais

O comportamento de qualquer estrutura é influenciado por três factores principais: a forma e as ligações da estrutura, os materiais de construção e as forças, acelerações e



deformações impostas (as acções). Estes factores são examinados em detalhe nesta secção.

3.2 O esquema estrutural e os danos

O comportamento estrutural depende das características dos materiais, das dimensões da estrutura, das ligações entre os diferentes elementos, das condições do terreno, etc. O comportamento real de uma construção é normalmente tão complexo que obriga a que seja representado através de um “esquema estrutural” simplificado, ou seja, através de uma idealização da construção que mostre, com o grau de precisão adequado, como é que esta resiste às diversas acções. O esquema estrutural ilustra o modo como a construção transforma acções em tensões e como garante a estabilidade.

Uma construção pode ser representada através de diferentes esquemas com diferente complexidade e diferentes graus de aproximação à realidade.

O esquema estrutural original pode ter sido alterado devido aos danos (fendas, etc.), reforço ou outras alterações na construção. O esquema adoptado para análise estrutural resulta habitualmente de um compromisso entre um esquema próximo da realidade, mas demasiado complexo para calcular, e um esquema simples de calcular, mas demasiado longe da realidade da construção.

O esquema utilizado deve considerar quaisquer alterações e degradações, tais como fendas, descontinuidades, esmagamentos, inclinações, etc., cujo efeito pode influenciar significativamente o comportamento estrutural. Estas alterações podem ser provocadas tanto por fenómenos naturais como por intervenções humanas. Estas últimas incluem a realização de aberturas, nichos, etc.; a eliminação de arcos, lajes, paredes, etc. (que podem criar forças desequilibradas); o aumento de altura da estrutura (que pode aumentar o seu peso); escavações, galerias, edifícios vizinhos, etc. (que podem reduzir a capacidade resistente do terreno).

3.3 As características dos materiais e os processos de degradação

As propriedades dos materiais (particularmente as resistências), que são os parâmetros básicos para qualquer cálculo, podem ser reduzidas através das degradações devidas à acção química, física ou biológica. A velocidade das degradações depende das propriedades dos materiais (como a porosidade) e da protecção existente (telhado



saliente, etc.), bem como da manutenção. Embora as degradações possam manifestar-se à superfície, sendo assim imediatamente visíveis através de uma inspecção superficial (eflorescências, porosidade elevada, etc.), existem também processos de degradação que só podem ser detectados através de ensaios mais sofisticados (ataque de térmitas na madeira, etc.).

3.4 As acções na estrutura e os materiais

As “acções” são definidas como qualquer agente (forças, deformações, etc.) que produza tensões e deformações na estrutura e qualquer fenómeno (químico, biológico, etc.) que afecte os materiais, normalmente reduzindo a sua resistência. As acções originais, que ocorrem desde o início da construção até à sua conclusão (por exemplo, o peso próprio), podem ser modificadas durante a sua vida e é frequente que estas mudanças produzam danos e degradações.

As acções têm naturezas diversas, com efeitos muito diferentes na estrutura e nos materiais.

Frequentemente, a estrutura é afectada por várias acções (ou modificações das acções originais), as quais devem ser claramente identificadas antes de se decidirem as medidas de reparação.

As acções podem ser classificadas em acções mecânicas que afectam a estrutura e acções químicas e biológicas que afectam os materiais. As acções mecânicas são estáticas ou dinâmicas, sendo as primeiras directas ou indirectas (ver Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação dos diferentes tipos de acções em estruturas e seus materiais

1 - Acções mecânicas (actuam sobre a estrutura)	{	i) Acções estáticas	a) Acções directas (i.e. cargas aplicadas)
			b) Acções indirectas (i.e. deformações impostas)
		ii) Acções dinâmicas (acelerações impostas)	

2 -	{	i) Acções físicas
		ii) Acções químicas (actuam sobre os materiais)
		iii) Acções biológicas



1) Acções mecânicas que actuam na estrutura produzem tensões e deformações no material, possivelmente resultando em fendilhação, esmagamento e movimentos visíveis. Estas podem ser estáticas ou dinâmicas.

i) Acções estáticas podem ser de dois tipos:

a) Acções directas são forças aplicadas tais como acções permanentes (peso da construção, etc.) e acções variáveis (equipamentos, pessoas, etc.). As alterações nas condições de carga, essencialmente o seu aumento, são fonte de aumentos das tensões e, desta forma, aumentos dos danos na estrutura.

Em alguns casos, a diminuição da carga pode também originar danos estruturais.

b) Acções indirectas (consistem em deformações impostas à estrutura, tais como assentamentos do terreno, ou produzidas nos materiais, tais como movimentos térmicos, fluência da madeira, retracção da argamassa, etc.). Estas acções, que podem variar continuamente ou ciclicamente, produzem esforços apenas se as deformações forem impedidas de se desenvolver.

A mais importante e frequentemente mais perigosa de todas as acções indirectas são os assentamentos do terreno (provocados por mudanças no nível freático, escavações, etc.), os quais podem criar grandes fendas, desaprumos, etc.

Várias acções indirectas possuem carácter cíclico, tais como variações de temperatura e alguns movimentos do terreno devidos à variação sazonal do nível freático. Os seus efeitos são habitualmente cíclicos, mas é possível que produzam deformações ou degradações continuadas, uma vez que cada ciclo produz alterações pequenas mas permanentes na estrutura.

O gradiente de temperatura entre a superfície exterior e o interior da construção pode causar variações de deformações no material e, desse modo, tensões e micro-fendas, que aceleram as degradações.

As acções indirectas também podem resultar da redução progressiva da rigidez dos elementos de uma estrutura indeterminada, ou hiperstática, (enfraquecimento, processos de degradação, etc.), originando uma redistribuição de tensões.

ii) Acções dinâmicas são produzidas quando uma estrutura fica sujeita a acelerações resultantes de terremotos (sismos), vento, furacões, vibrações de máquinas, etc.

A acção dinâmica mais significativa é normalmente causada por sismos. A intensidade das forças produzidas está relacionada, tanto com a magnitude da aceleração, como com



as frequências próprias da estrutura e a sua capacidade para dissipar energia. O efeito de um sismo está também relacionado com a história de sismos anteriores que podem ter debilitado progressivamente a estrutura.

2) Acções físicas, químicas e biológicas são de natureza completamente diferente das descritas anteriormente e actuam sobre os materiais alterando a sua natureza, habitualmente resultando numa forma diferente de degradações e, nomeadamente, afectando a sua resistência.

As propriedades dos materiais podem alterar-se com o passar do tempo devido a processos naturais característicos de cada material, tais como o endurecimento lento da argamassa de cal ou as degradações internas lentas.

Estas acções podem ser influenciadas e aceleradas pela presença da água (chuva, humidade, água freática, ciclos de molhagem/secagem, crescimento orgânico, etc.), variações de temperatura (expansão e contracção, acção do gelo, etc.) e condições micro-climáticas (poluição, deposição superficial, mudanças da velocidade do vento devido a estruturas adjacentes, etc.). O fogo pode ser considerado como uma variação extrema de temperatura.

Uma acção comum é a oxidação de metais, que pode ser visível na superfície ou invisível (como por exemplo em reforços metálicos colocados no interior de outro material e apenas detectável por efeitos secundários, tais como a fractura e o destacamento do material envolvente).

As mudanças químicas podem acontecer espontaneamente devido às características inerentes do material ou podem ocorrer como resultado de agentes externos, tais como a deposição de poluentes, ou a migração de água ou de outros agentes através do material. Os agentes biológicos na madeira estão frequentemente activos em áreas que não são facilmente inspeccionáveis.

4. Diagnóstico e avaliação da segurança

4.1 Aspectos gerais

O diagnóstico e a avaliação da segurança da estrutura são duas fases consecutivas e relacionadas, na base das quais é determinada a necessidade efectiva e a extensão das medidas de intervenção. Se estas fases forem executadas incorrectamente, as decisões



resultantes serão arbitrárias: um juízo deficiente pode resultar, quer em medidas conservadoras e, portanto, pesadas, quer em níveis de segurança inadequados.

A avaliação da segurança da construção deve ser baseada tanto em métodos qualitativos (documentação, observação, etc.), como em métodos quantitativos (experimentais, matemáticos, etc.) que tenham em conta o efeito dos fenómenos envolvidos sobre o comportamento estrutural.

Qualquer avaliação da segurança é seriamente afectada por dois tipos de problemas:

- a incerteza associada aos dados (acções, resistências, deformações, etc.), leis, modelos, hipóteses, etc., utilizados na investigação;
- a dificuldade de representar os fenómenos reais de um modo preciso.

Deste modo, parece razoável tentar diferentes abordagens, em que cada uma fornece uma contribuição separada, mas que combinadas podem produzir o melhor "veredicto" possível, baseado na informação disponível.

Quando é feita uma avaliação da segurança, é também necessário incluir alguma indicação, mesmo que só qualitativa, da fiabilidade das hipóteses admitidas, dos resultados e do grau de precaução implícito nas medidas propostas.

Os regulamentos modernos e a prática profissional moderna adoptam uma abordagem conservadora que envolve a utilização de factores de segurança para ter em conta as várias incertezas. Este procedimento é apropriado para estruturas novas, em que a segurança pode ser melhorada com aumentos moderados das secções dos elementos e dos custos. Porém, esta abordagem não é apropriada em estruturas históricas, em que as exigências para aumentar a resistência podem conduzir à perda de elementos estruturais ou a alterações na concepção original da estrutura. É preciso adoptar uma abordagem mais flexível e mais abrangente para as estruturas antigas, para mais claramente relacionar as medidas de intervenção com o comportamento estrutural real e para preservar o princípio da intervenção mínima.

O veredicto sobre a segurança de uma estrutura é baseado numa avaliação dos resultados obtidos dos três procedimentos de diagnóstico que serão discutidos a seguir. Estes procedimentos têm presente que a abordagem qualitativa desempenha um papel tão importante quanto a abordagem quantitativa.

Salienta-se ainda que os factores de segurança estabelecidos para estruturas novas têm em conta as incertezas da construção. Em construções existentes, estas incertezas



podem ser reduzidas porque o comportamento real da estrutura pode ser observado e monitorizado. Se for possível obter informação mais fidedigna, a redução dos factores de segurança (teóricos) não corresponde necessariamente a uma redução da segurança real. No entanto, existem casos em que o contrário é verdadeiro e é mais difícil obter informação para uma estrutura histórica. (Estes aspectos são tratados com mais detalhe nas secções 4.3.1 e 4.3.4).

4.2 Identificação das causas (Diagnóstico)

O diagnóstico pretende identificar as causas dos danos e degradações, com base nos dados adquiridos, de acordo com três aspectos:

- Análise histórica (ver secção 4.3.2)
- Análise qualitativa (ver secção 4.3.3)
- Análise quantitativa, que inclui tanto a modelação matemática (ver secção 4.3.4) como os ensaios (ver secção 4.3.5)

O diagnóstico é frequentemente uma fase difícil, uma vez que os dados disponíveis se referem aos efeitos, enquanto que é a causa ou, como ocorre mais frequentemente, as várias causas concomitantes que têm de ser determinadas. Por isto, a intuição e a experiência são componentes essenciais no processo de diagnóstico. Um diagnóstico correcto é indispensável para uma avaliação apropriada da segurança e para um juízo racional sobre as medidas de tratamento a adoptar.

4.3 Avaliação da segurança

4.3.1 O problema da avaliação da segurança

A avaliação da segurança é o passo seguinte na conclusão da fase de diagnóstico. Enquanto que no diagnóstico o objectivo é identificar as causas de danos e degradações, na avaliação da segurança pretende-se verificar se os níveis de segurança são aceitáveis ou não, recorrendo a uma análise do estado actual da estrutura e dos materiais. A avaliação da segurança é, então, um passo essencial neste processo pois é nesta fase que são tomadas decisões sobre a necessidade e extensão das medidas de intervenção.

No entanto, a avaliação da segurança é uma tarefa difícil uma vez que os métodos de análise estrutural utilizados para construções novas podem não ser precisos nem fiáveis para as estruturas históricas, podendo resultar em decisões inadequadas. Isto deve-se a



diversos factores, tais como a dificuldade em entender correctamente a complexidade de uma construção antiga ou monumento, as incertezas relativas às características dos materiais, a influência desconhecida de fenómenos anteriores (por exemplo assentamentos do terreno), e o conhecimento deficiente de alterações e reparações realizadas no passado. Deste modo, uma abordagem quantitativa baseada em modelos matemáticos não deve ser o único procedimento a ser adoptado. Tal como no caso do diagnóstico, as abordagens qualitativas baseadas na investigação histórica e na observação da estrutura devem também ser adoptadas. Uma quarta abordagem, baseada em ensaios específicos, também pode ser útil em algumas situações.

Cada uma destas abordagens, que são discutidas em seguida, pode fornecer elementos para a avaliação da segurança, mas é a análise combinada da informação obtida em cada abordagem que pode conduzir ao “melhor juízo”. Na formação deste juízo, tanto os aspectos quantitativos como os aspectos qualitativos devem ser tomados em consideração, pesados com base na fiabilidade dos dados e nas hipóteses admitidas. Tudo isto deve ser apresentado no “RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO” anteriormente referido.

Desta forma, deve ser claro que o engenheiro encarregue da avaliação da segurança de uma construção histórica não deve ser legalmente obrigado a basear as suas decisões apenas nos resultados de cálculos porque, tal como salientado, estes podem ser pouco fiáveis ou inadequados.

Procedimentos semelhantes têm que ser seguidos para avaliar os níveis de segurança após o projecto de alguns tipos de intervenção (ver Capítulo 5), de modo a avaliar os seus benefícios e a assegurar que a sua adopção é apropriada (nem insuficiente nem excessiva).

4.3.2 A análise histórica

O conhecimento do que aconteceu no passado pode ajudar a prever o comportamento futuro e constitui uma indicação útil para avaliar o nível de segurança proporcionado pelo estado actual da estrutura. A história é o laboratório experimental mais completo, à escala real. Ela demonstra como o tipo de estrutura, os materiais de construção, as ligações, as juntas, as adições e as alterações interagiram com diferentes acções, tais como acréscimos de carga, sismos, deslizamentos de terras, variações de temperatura,



poluição atmosférica, etc., possivelmente alterando o comportamento original da estrutura, causando fendas, fissuras, esmagamentos, movimentos para fora do plano, degradações, colapsos, etc. A tarefa consiste em remover a informação supérflua e interpretar correctamente os dados relevantes para a descrição do comportamento estático e dinâmico da estrutura.

Embora o comportamento satisfatório exibido no passado seja um factor importante para prever a sobrevivência da construção no futuro, nem sempre é um guia fiável. Isto é particularmente verdade quando a estrutura está a funcionar no limite da sua capacidade de carga e esteja envolvido comportamento frágil (como a elevada compressão em pilares), quando existem alterações significativas na estrutura ou quando são possíveis acções repetidas (como sismos) que progressivamente debilitam a estrutura.

4.3.3 A abordagem qualitativa

Esta abordagem é baseada numa comparação entre o estado actual da estrutura e o estado de estruturas semelhantes cujo comportamento seja já compreendido. A experiência obtida através da análise e da comparação entre o comportamento de estruturas diferentes pode melhorar a possibilidade de extrapolações e pode oferecer uma base para avaliar a segurança.

Esta abordagem (conhecida em termos filosóficos como um procedimento indutivo) não é completamente fiável porque depende mais de um juízo pessoal do que de procedimentos estritamente científicos. Todavia, pode ser a abordagem mais racional, nos casos em que existam incertezas inerentes aos problemas envolvidos, sendo outras abordagens apenas na aparência mais rigorosas e fiáveis.

A partir da observação do comportamento de diferentes tipos estruturais, em vários estados de dano e degradação causados por acções diferentes (sismos, assentamentos do terreno, etc.), e tendo sido adquirida experiência sobre a sua robustez e durabilidade, é possível extrapolar este conhecimento para prever o comportamento da estrutura em análise. A fiabilidade desta avaliação dependerá do número de estruturas observadas e, consequentemente, da experiência e conhecimentos dos técnicos envolvidos. Um programa apropriado de investigação e a monitorização dos fenómenos não estabilizados podem aumentar a fiabilidade desta avaliação.



4.3.4 A abordagem analítica

Esta abordagem utiliza os métodos da análise estrutural moderna, os quais, com base em determinadas hipóteses (teoria da elasticidade, teoria da plasticidade, modelos porticados, etc.), apresentam conclusões baseadas em cálculos matemáticos. Em termos filosóficos, esta abordagem representa um procedimento dedutivo. Porém, as incertezas que podem afectar a representação das características dos materiais, e a representação imperfeita do comportamento estrutural, juntamente com as simplificações adoptadas, podem conduzir a resultados que não são sempre fiáveis, e que podem inclusivamente ser muito diferentes da situação real. A essência do problema é então a identificação de modelos significativos que descrevam adequadamente a estrutura e os fenómenos associados com toda a sua complexidade, tornando possível a aplicação das teorias disponíveis.

Os modelos matemáticos são as ferramentas mais comuns de análise estrutural. Os modelos que descrevem a estrutura original, se adequadamente calibrados, permitem a comparação dos danos teóricos produzidos pelos diferentes tipos de acções com os danos efectivamente observados, fornecendo uma ferramenta útil para a identificação das causas de tais danos. Os modelos matemáticos da estrutura danificada e da estrutura reforçada ajudarão a avaliar os níveis de segurança actuais e a avaliar os benefícios das intervenções propostas.

A análise estrutural é uma ferramenta indispensável. Mesmo quando os resultados de cálculo e a análise não são exactos, é possível obter distribuições das tensões e possíveis áreas críticas. Contudo, os modelos matemáticos isoladamente não podem, geralmente, fornecer uma avaliação fiável de segurança. A compreensão dos aspectos-chave, e a fixação correcta dos limites para o uso de técnicas matemáticas, depende da utilização que o especialista faz do seu conhecimento científico. Qualquer modelo matemático deve ter em conta os três aspectos descritos na Capítulo 3: o esquema estrutural, as características dos materiais e as acções a que a estrutura está submetida.

4.3.5 A abordagem experimental

Ensaio específicos (tais como ensaio de carga num pavimento, numa viga, etc.) irão fornecer uma medida directa das margens de segurança, ainda que sejam apenas aplicáveis a elementos isolados e não à construção como um todo.



4.4 Decisões e relatório de avaliação

O juízo sobre a avaliação da segurança de uma estrutura é baseado nos resultados das três (ou quatro) abordagens principais atrás descritas (a quarta abordagem tem aplicação limitada). Quando a análise revela níveis de segurança inadequados, deve ser verificado se esta utilizou dados pouco precisos ou valores excessivamente conservadores. Isto pode conduzir à conclusão que é necessária mais investigação antes que possa ser feito o diagnóstico.

Uma vez que os juízos qualitativos podem representar um papel tão importante quanto os dados quantitativos, a avaliação da segurança e consequentes decisões sobre a intervenção devem ser registadas no RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO (já referido), onde são claramente explicadas todas as considerações que conduziram à avaliação final e todas as decisões tomadas. O veredicto deve ter em conta, tanto o grau de precisão, quanto o grau de precaução subjacente a cada decisão, e deve ser baseado num raciocínio logicamente consistente.

O factor tempo deve ser considerado no “Relatório de Avaliação”, porque uma decisão para empreender medidas imediatas, ou uma decisão para aceitar o estado actual, são simplesmente dois extremos de uma escala de escolhas. As alternativas passam frequentemente pelo reforço da estrutura com base no conhecimento presente ou pela continuação da investigação para obter dados mais completos e fiáveis na esperança de reduzir qualquer intervenção. Porém, deve ser fixado um prazo limite para implementar as decisões, tendo em conta que a segurança é de natureza probabilística, com probabilidade crescente de ocorrência de danos ou do colapso em função do adiamento das acções de reparação.

Os factores subjacentes ao estabelecimento de um prazo limite dependerão essencialmente de três tipos de fenómenos:

- processos não estabilizados (por exemplo processos de degradação, assentamentos lentos do terreno, etc.) que acabarão por reduzir os níveis de segurança abaixo de limites aceitáveis, obrigando a medidas correctivas antes de tal ocorrer;
- fenómenos de natureza cíclica (variação de temperatura, teor de humidade, etc.) que produzirão degradações crescentes;



- fenómenos que podem ocorrer repentinamente (como sismos, furacões, etc). A probabilidade de estes fenómenos ocorrerem para um dado nível aumenta com a passagem do tempo, de forma que o nível de segurança a proporcionar pode ser teoricamente relacionado com a esperança de vida da estrutura (por exemplo, é bem conhecido que para proteger uma construção contra sismos por cinco séculos é necessário considerar maiores acções do que aquelas que deverão ser consideradas para proteger a mesma construção durante um século).

5. Danos estruturais, degradações dos materiais e medidas de intervenção

5.1 Aspectos gerais

Esta secção considera procedimentos para decisão envolvidos tanto na investigação de uma estrutura como na selecção de medidas de intervenção a serem aplicadas. Nos parágrafos seguintes são esboçados alguns exemplos dos danos mais frequentes e métodos de reparação para os principais materiais estruturais, sem se pretender fornecer uma revisão exaustiva das soluções possíveis, disponível em outras publicações.

Os danos estruturais ocorrem quando as tensões provocadas por uma ou mais acções (ver secção 3.4) excedem a resistência dos materiais em zonas significativas, seja porque as próprias acções aumentaram ou porque a resistência diminuiu. Mudanças substanciais na estrutura, incluindo demolição parcial podem também ser fonte de danos.

A manifestação dos danos está relacionada com o tipo de acções e com os materiais de construção. Os materiais frágeis romperão com deformações reduzidas enquanto que os materiais dúcteis exibirão deformação considerável antes da rotura.

O aparecimento de danos, e em particular de fendas, não é necessariamente uma indicação de risco de colapso numa estrutura, pois as fendas podem aliviar tensões que não são essenciais para o equilíbrio (por exemplo, certo tipo de fendas produzidas por assentamentos do terreno) e, por mudanças no sistema estrutural, podem permitir uma redistribuição benéfica de tensões.

Os danos podem também ocorrer em elementos não estruturais, como por exemplo revestimentos de paredes ou paredes divisórias, como resultado de tensões desenvolvidas nesses elementos devido a movimentos ou alterações dimensionais dentro da estrutura.



As degradações dos materiais têm origem em acções químicas, físicas e biológicas e podem ser aceleradas quando estas acções são modificadas de forma desfavorável (por exemplo, pela poluição, etc.). Como principais consequências resultam as degradações das superfícies, as perdas de materiais e, do ponto de vista mecânico, as reduções de resistências. A estabilização das características dos materiais é, desta forma, uma tarefa importante na conservação de edifícios históricos. Um programa de manutenção é uma acção essencial pois, embora a prevenção ou redução da velocidade de alteração seja difícil, é habitualmente mais complicado, ou mesmo impossível, recuperar as propriedades perdidas dos materiais.

5.2 Construção em alvenaria e em terra⁵

O termo alvenaria aqui utilizado refere-se à construção em pedra, tijolo e terra (i.e. adobe, taipa, etc.). As estruturas de alvenaria são feitas geralmente de materiais que têm uma resistência à tracção muito baixa e podem facilmente exhibir fendilhação interna ou separação entre elementos. Contudo, estes sinais não são necessariamente uma indicação de perigo, porque as estruturas de alvenaria funcionam principalmente à compressão.

A análise preliminar da alvenaria deve identificar as características dos constituintes deste material compósito: as pedras (calcário, arenito, etc.) ou tijolos (cozidos ou secos ao sol, etc.), e o tipo de argamassa (cimento, cal, etc.). É também necessário conhecer como os elementos estão ligados (juntas secas, juntas argamassadas, etc.) e o modo como se relacionam geometricamente entre si. Diferentes tipos de ensaios podem ser utilizados para averiguar a composição da parede (ensaios endoscópicos, etc.).

Em geral, as estruturas de alvenaria dependem do efeito dos pisos ou das coberturas para distribuir as cargas laterais e assim assegurar a estabilidade global da estrutura. É importante examinar a disposição destas estruturas e a sua ligação efectiva à alvenaria. Também é necessário compreender a sequência da construção porque as diferentes características dos diferentes períodos da alvenaria podem afectar o comportamento global da estrutura.

Deve ser prestada particular atenção a paredes espessas construídas com diferentes tipos de materiais. Nessas paredes incluem-se paredes duplas, paredes de alvenaria com

⁵ “Masonry structures” no original. (*N. da T.*).



enchimento irregular, e paredes de tijolo de face à vista que têm um núcleo de fraca qualidade. Não só o núcleo interior pode ser menos capaz de suportar carga, mas, também, pode ele próprio produzir impulsos nos panos exteriores. Neste tipo de alvenaria, os panos exteriores podem separar-se do núcleo interno, pelo que é necessário verificar se os diferentes elementos estão a funcionar em conjunto ou separadamente. Este último caso é, habitualmente, perigoso porque os panos exteriores podem tornar-se instáveis.

Tensões de compressão próximas da capacidade dos materiais podem causar fendas verticais como primeiro sinal de danos, conduzindo finalmente a grandes deformações laterais, destacamentos, etc. A extensão na qual estes efeitos se tornam visíveis depende das características do material e, em particular, da sua fragilidade. Estes efeitos podem desenvolver-se muito lentamente (até durante décadas) ou rapidamente, mas tensões próximas da resistência última representam um risco de colapso elevado, mesmo que as acções permaneçam constantes.

Uma análise da distribuição de tensões é útil para identificar as causas de danos. Para compreender as causas de danos (diagnóstico) é necessário avaliar primeiro os níveis e a distribuição de tensões, mesmo que aproximadamente. Dado que as tensões são normalmente muito baixas, pequenos erros na avaliação não afectam significativamente a margem de segurança. Uma inspecção visual do padrão de fendilhação pode fornecer uma indicação do trajecto das cargas dentro de uma estrutura.

Quando as tensões, em áreas significativas, estão próximas da resistência última é necessário realizar uma análise estrutural mais precisa ou ensaios específicos na alvenaria (ensaio de macacos planos, ensaio sónico, etc.) para proporcionar uma avaliação mais precisa da resistência.

As cargas laterais actantes no plano da estrutura podem causar fendas diagonais ou deslizamento. As cargas fora do plano ou cargas excêntricas podem causar separação dos panos, numa parede de panos múltiplos, ou rotação da totalidade da parede sobre a sua base. Neste último caso, é possível que surjam fendas horizontais na base da parede antes de ocorrer o derrubamento.



As diferentes possibilidades de intervenção para reforçar uma parede incluem:

- o refechamento das juntas da alvenaria existente, consolidação da parede com argamassa de injeção do tipo “grout”;
- a inclusão de armaduras metálicas, verticais ou longitudinais;
- a remoção e reposição de material deteriorado;
- o desmonte e a reconstrução, parcial ou total.

O uso de argamassas fluidas (cal, cimento, resinas, produtos especiais, etc.), injectadas para consolidar a alvenaria e resolver problemas de fendilhação e degradações, depende das características dos materiais. Deve ser dada particular atenção à compatibilidade entre materiais originais e materiais novos.

Os cimentos com sais apenas podem ser utilizados se não existir risco de danos para a alvenaria e, em particular, para os seus paramentos. Em paredes construídas com argamassas que possuem gesso, a reacção entre o gesso e os minerais do cimento resulta na formação de sais que irão causar danos. Pode ainda existir um problema de lixiviação de sais solúveis da argamassa que resulta em eflorescências na superfície da alvenaria de tijolo (particularmente arriscado quando existem rebocos históricos ou frescos).

Existem diferentes produtos para a protecção e consolidação de superfícies que não apresentam nenhum revestimento para as proteger. Porém, estes produtos raramente são completamente eficientes e tem que ser prestada particular atenção a possíveis efeitos colaterais.

Os arcos e abóbadas são elementos típicos das estruturas em alvenaria. Estes elementos contam com a curvatura e com o impulso nas nascenças para reduzir ou eliminar os momentos flectores, permitindo, assim, a utilização de materiais com baixa resistência à tracção. A sua capacidade de carga é habitualmente excelente e é o movimento ao nível das nascenças que, ao introduzir momentos flectores e tensões de tracção, conduz a aberturas de juntas e possível colapso.

A formação de fendas de reduzida espessura pode ser normal no comportamento de algumas estruturas em abóbada. Os problemas estruturais podem estar associados com uma execução deficiente (fraca aderência entre unidades de alvenaria, baixa qualidade do material, etc.), geometria imprópria para a distribuição de cargas, ou resistência e rigidez inadequadas dos componentes que resistem aos impulsos (correntes ou cadeias metálicas, mísulas).



Quando o material de construção tem resistência muito baixa (como em estruturas feitas de pedras irregulares com muita argamassa), é possível detectar a separação de partes das abóbadas nas zonas onde a compressão é baixa ou onde existem tensões de tracção, podendo, em certas circunstâncias, conduzir ao seu colapso gradual.

A relação entre a distribuição da carga e a geometria da estrutura deve ser cuidadosamente considerada quando as cargas (especialmente cargas permanentes elevadas) são removidas ou acrescentadas a estruturas de alvenaria em arco ou em abóbada.

As principais medidas de intervenção são baseadas na devida consideração dos aspectos acima referidos, podendo consistir na: introdução de tirantes novos (normalmente ao nível do arranque das abóbadas, ou ao longo de círculos paralelos nas cúpulas); construção de contrafortes; correcção da distribuição da carga (em alguns casos com adição de cargas).

Construções altas como torres, torres sineiras, minaretes, etc., são caracterizadas por tensões de compressão elevadas e apresentam problemas semelhantes aos dos pilares e das colunas. Além disso, estas estruturas podem estar debilitadas por ligações deficientes entre as paredes e por alterações, como a execução ou tamponamento de aberturas, etc. Quando correctamente posicionados, o uso de barras-tirante e correntes-cadeias horizontais pode melhorar a sua capacidade resistente para cargas gravíticas.

5.3 Madeira

A madeira tem sido usada em estruturas resistentes e porticadas, em estruturas mistas de madeira e alvenaria e para realizar elementos principais de estruturas resistentes de alvenaria. O seu funcionamento estrutural depende da espécie de madeira, das características de crescimento da árvore e do seu estado de degradação. As operações preliminares devem ser a identificação das espécies, que apresentam diferente susceptibilidade a ataques biológicos, e a avaliação da resistência dos elementos individuais, que está relacionada com o número e a distribuição de nós e outras características de crescimento. Fendas longitudinais, paralelas às fibras devidas à retracção por secagem, não são perigosas quando as suas dimensões são pequenas.

Os ataques de fungos e insectos são a principal causa de danos. Estes estão relacionados com um elevado teor de humidade e temperatura. O teor de humidade em serviço deve



também ser medido como uma indicação da vulnerabilidade ao ataque. A manutenção deficiente das construções ou mudanças radicais nas condições internas são as causas mais comuns de degradações da madeira.

O contacto com a alvenaria é frequentemente uma origem de humidade. Isto pode ocorrer onde a alvenaria suporta a madeira ou onde a madeira tenha sido utilizada para reforçar a alvenaria.

Uma vez que as degradações e os ataques de insectos podem não ser visíveis na superfície, estão disponíveis métodos, como a micro-perfuração, para o exame do interior da madeira.

Os produtos químicos podem proteger a madeira contra ataques biológicos. Por exemplo, em pavimentos ou telhados, as extremidades das vigas inseridas em paredes de alvenaria podem necessitar de ser protegidas.

Nas zonas em que são introduzidos materiais de reforço ou consolidantes, a sua compatibilidade com a estrutura de madeira deve ser verificada. Por exemplo, dispositivos de ligação e fixação de aço podem ser susceptíveis à corrosão em associação com algumas espécies, devendo, nesses casos, ser utilizado aço inoxidável. As intervenções não devem impedir a evaporação de humidade da madeira.

O desmonte e a reconstrução de estruturas de madeira é uma operação delicada devido ao risco de danos. Existe também a possível perda de materiais associados com valor histórico. No entanto, dado que muitas estruturas de madeira foram originalmente pré-fabricadas, existem circunstâncias onde o desmonte parcial ou total pode facilitar uma reparação eficiente.

A madeira é frequentemente usada para formar estruturas porticadas e articuladas, em que os problemas principais estão relacionados com roturas parciais nos nós. As medidas de intervenção mais comuns consistem no reforço dos nós ou na adição de elementos diagonais adicionais, quando é necessário melhorar a estabilidade para forças laterais.

5.4 Ferro e aço

É necessário distinguir entre ferro fundido, ferro forjado e estruturas de aço. O primeiro tem menor resistência à tracção e pode conter tensões internas que são o resultado do processo de fundição. Este material é frágil e se for submetido a tensões de tracção pode



fracturar sem aviso. A resistência dos elementos individuais pode ser afectada de forma adversa por mão-de-obra deficiente na fundição.

O ferro e o aço são ligas cuja susceptibilidade à corrosão depende da sua composição. A corrosão é sempre acompanhada por um aumento do volume de material que pode dar lugar a tensões em materiais associados; por exemplo, a fractura da pedra ou betão como resultado da corrosão de barras ou grampos de ferro inseridos.

Os aspectos mais vulneráveis das estruturas de aço são as suas ligações, onde as tensões são geralmente mais altas, especialmente nos furos para ligação. Pontes ou outras estruturas sujeitas a carregamentos repetidos podem estar sujeitas a rotura por fadiga.

Por esse motivo, em ligações rebitadas e aparafusadas é muito importante verificar a existência de fendas com origem nos furos. A análise da fractura permite a avaliação da restante vida útil da estrutura.

A protecção contra a corrosão do ferro e do aço requer em primeiro lugar a eliminação da ferrugem das superfícies (por jacto de areia, processos químicos, etc.) e, posteriormente, a pintura da superfície com um produto apropriado.

Estruturas de ferro e aço fortemente danificadas e deformadas não podem ser geralmente reparadas. O reforço de estruturas pouco resistentes pode, frequentemente, ser conseguido pela adição de novos elementos, devendo-se prestar particular atenção no caso de se optar pela soldadura.

5.5 Betão armado

O betão armado (e pré-esforçado) é a matéria-prima de muitas construções modernas actualmente com importância histórica reconhecida. Porém, na época da sua construção, a completa compreensão do comportamento dos materiais estava ainda em desenvolvimento, de forma que estas estruturas podem apresentar problemas especiais de durabilidade (baixas dosagens de cimento, recobrimento inadequado das armaduras, etc.).

Os aspectos mais delicados relacionam-se normalmente com a carbonatação do betão (que endurece o betão mas também o torna mais frágil), reduzindo a sua capacidade para proteger o aço. O betão armado exposto aos cloretos (em locais marítimos ou em estradas onde se utiliza sal) é particularmente sensível no que se refere à corrosão do aço.



ICOMOS
COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA A ANÁLISE E
RESTAURO DE ESTRUTURAS DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO

A corrosão do aço resulta no destacamento do betão. A consolidação de um elemento de betão armado afectado por estes fenómenos requer normalmente a eliminação do betão deteriorado (jacto de água, meios mecânicos, etc.), a limpeza do aço, a adição de nova armadura e a reconstrução da superfície usando frequentemente betões especiais.



ICOMOS
COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA A ANÁLISE E
RESTAURO DE ESTRUTURAS DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO

ANEXO I - MEMBROS DO COMITÉ

Presidente	Giorgio CROCI	(ITÁLIA)
Secretário-geral	Koenraad VAN BALEN	(BÉLGICA)
Tesoureiro	Christiane SCHMUCKLE-MOLLARD	(FRANCA)
Direcção	Kenichiro HIDAKA Stephen KELLEY Gorun ARUN Yacoov SCHAFFER Wolf SCHMIDT Pali WIJERATNE David YEOMANS	(JAPÃO) (EUA) (TURQUIA) (ISRAEL) (ALEMANHA) (SRI LANKA) (INGLATERRA)
Membros eleitores	Ali Abd AL RAHMAN Homayoun ARBABIAN Susan BALDERSTONE Mamadou BERTHE Bjorn BJERKINGS Irine ELIZBARASHVILI Patricia EMMET Lyne FONTAINE Predrag GAVRILOVIC José Luis GONZALEZ MORENO Svebor HERUC Dan IONESCU Olga KANTOVA Amoussou KPOTOGBE Denis LESAGE Paulo LOURENÇO Giorgio MACCHI Androniki MILTIADOU Benjamin MOUTON Juhani PENTINMIKKO Silvia PUCCIONI Jeremy SALMOND Heinrich SCHROETER Maria SEGARRA LAGUNES Amund SINDING-LARSEN Ramiro SOFRONIE Andrea URLAND Fritz WENZEL Patrick WIRTZ	(EGIPTO) (IRÃO) (AUSTRÁLIA) (SENEGAL) (SUÉCIA) (GEÓRGIA) (ÁFRICA DO SUL) (CANADÁ) (MACEDÓNIA) (ESPANHA) (HOLANDA) (ROMÉNIA) (REP. CHECA) (TOGO) (TUNÍSIA) (PORTUGAL) (ITÁLIA) (GRÉCIA) (FRANÇA) (FINLÂNDIA) (BRASIL) (NOVA ZELÂNDIA) (ALEMANHA) (MÉXICO) (NORUEGA) (ROMÉNIA) (ESLOVÁQUIA) (ALEMANHA) (LUXEMBURGO)
Membros associados	Fabrizio AGO Homayoun ARBABIAN Luigia BINDA Nikos CHARKIOLAKIS Melvyn GREEN Pierre HALLEUX David LOOK	(ITÁLIA) (IRÃO) (ITÁLIA) (GRÉCIA) (EUA) (BÉLGICA) (EUA)



ICOMOS
COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA A ANÁLISE E
RESTAURO DE ESTRUTURAS DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO

	Claudio MODENA Brian MORTON Snejanka POPOVA Vito RENDA Pere ROCA Kirsten VAN TONDER	(ITÁLIA) (REINO UNIDO) (CANADÁ) (ITÁLIA) (ESPANHA) (ÁFRICA DO SUL)
Membros honorários	Roland SILVA	(SRI LANKA)



ANEXO II - GLOSSÁRIO

Abordagem Baseada na Observação – Uma abordagem incremental para intervir ou reforçar, com início num nível mínimo de intervenção e com a possível subsequente adopção de medidas correctivas.

Abordagem Histórica – Avaliação baseada na investigação histórica e experiência adquirida. Ver *Abordagem Qualitativa* e *Abordagem Quantitativa*.

Abordagem Qualitativa⁶ – Avaliação baseada na observação do comportamento de diferentes tipos estruturais, nos danos apresentados e no conhecimento / experiência pessoal. Ver *Abordagem Histórica* e *Abordagem Quantitativa*.

Abordagem Quantitativa – Avaliação baseada em métodos analíticos ou científicos, como ensaios, cálculos e modelos matemáticos. Ver *Abordagem Histórica* e *Abordagem Qualitativa*.

Acção n. – Qualquer agente (forças, deformações, etc.) que directamente ou indirectamente produz tensões e / ou deformações na estrutura de uma construção e qualquer fenómeno (químico, biológico, etc.) que afecta os materiais que constituem a estrutura da construção. As diferentes classificações das acções e as suas definições estão indicadas nas “Recomendações”.

Adobe n. – Adobe inclui os tijolos feitos a partir de barro e simplesmente secos ao sol. Alguns materiais orgânicos como a palha ou excrementos animais podem ser utilizados para melhorar a durabilidade e reduzir a retracção.

Alvenaria de Tijolo n. – Alvenaria de tijolo é uma estrutura ou material compósito construído com fiadas de tijolo alternadas e ligadas com argamassa.

⁶ Definição ausente no original. (*N. da T.*).



Análise Custo-Benefício – Custos e benefícios referem-se a aspectos gerais e não a aspectos financeiros. Os custos podem ser medidos na perda potencial de elementos estruturais devido às características invasivas da terapia, e os benefícios podem ser aqueles obtidos com a terapia e com o conhecimento que seja útil no futuro. Este termo não deve ser interpretado como “engenharia de valor”.

Análise Estrutural – Cálculos, análise em computador utilizando modelos matemáticos.

Anamnese n. – A consideração da história da construção incluindo os traumas do passado, as intervenções, as modificações, etc. A investigação para obter esta informação realiza-se antes do exame visual. Esta é a primeira etapa antes do diagnóstico. Ver *Controlo, Diagnóstico, e Terapia*.

Argamassas – A argamassa é uma mistura de um ou mais ligantes, agregados e água. Por vezes, incluem-se aditivos em alguma proporção para dar à mistura consistência e trabalhabilidade, no estado fresco, e propriedades físicas-mecânicas adequadas, quando endurecida.

Avaliação da Segurança – Avaliação das margens de segurança da estrutura com respeito a danos significativos, colapso parcial ou colapso total. Ver *Abordagem Histórica, Abordagem Qualitativa, Abordagem Quantitativa*. O contrário de segurança é risco.

Conservação n. – Operações que mantêm a construção tal como ela é hoje, ainda que intervenções limitadas sejam aceites para melhorar os níveis de segurança.

Construção n. – Algo que foi construído. Quando utilizado no contexto destas “Recomendações”, o termo inclui igrejas, templos, pontes, barragens, e todos os trabalhos de construção. Também referido como Património Arquitectónico.



ICOMOS
COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA A ANÁLISE E
RESTAURO DE ESTRUTURAS DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO

Controlo n. – Uma comparação standard para verificação dos resultados de um ensaio. Verificação e avaliação da eficiência de uma terapia aplicada através de ensaios, monitorização e exame. Ver *Anamnese, Diagnóstico, e Terapia*.

Dano n. – Alteração e afectação do comportamento estrutural produzidas por acções mecânicas e / ou redução da resistência. Redução da capacidade de carga do sistema estrutural, em relação ao colapso. Ver *Degradação e Estrutura*.

Degradação n. – Alteração e afectação das características dos materiais produzidas por acções químicas e biológicas. Degradação química relacionada com o colapso dos materiais que constituem o sistema estrutural. Perda de qualidade, destruição, tecido deteriorado. Ver *Dano*.

Diagnóstico n. – O acto ou processo de identificar ou determinar a natureza e a causa dos danos e degradações através da observação, investigação (incluindo modelos matemáticos) e análise histórica, e a opinião que resulta destas actividades. Ver *Anamnese, Controlo e Terapia*.

Elementos Estruturais n. – As partes estruturais e materiais que constituem uma construção (pórticos, paredes, pisos, telhado, etc.).

Ensaio de Materiais – Ensaio de materiais (físicos, químicos, porosidade, envelhecimento acelerado, etc.) em laboratório ou no local.

Ensaio Estrutural – Ensaio de laboratório ou no local sobre estruturas (ensaio do conjunto ou de componentes, ensaio de carga nos pavimentos, mesas sísmicas, etc.).

Esquema Estrutural – Uma representação aproximada (ou modelo) da estrutura, diferente, mas próximo, da realidade.

Estrutura n. – A parte de uma construção que providencia a capacidade de carga, algumas vezes coincidente com a própria construção.



ICOMOS
COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA A ANÁLISE E
RESTAURO DE ESTRUTURAS DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO

Fissurómetro – Um equipamento colocado através de uma fenda numa estrutura de alvenaria para indicar movimentos na mesma.

Holístico adj. – Salientando a importância do conjunto e da interdependência entre as suas partes.

Inspecção Visual – A parte visual da investigação que exclui ensaios de materiais, análise estrutural, ensaios estruturais, e outras técnicas mais sofisticadas de investigação. Ver *Investigação, Ensaio de Materiais, Análise Estrutural e Ensaios Estruturais*.

Intervenção n. – A intrusão física numa construção durante um diagnóstico, ou a sua terapia.

Investigação n. – Uma avaliação sistemática e detalhada de um edifício que inclui o exame visual, os ensaios dos materiais, a análise estrutural, e os ensaios estruturais. Ver *Diagnóstico, Inspecção Visual, Ensaio de Materiais, Análise Estrutural, e Ensaio Estrutural*.

Levantamento Geométrico – Cadernetas de levantamento. Desenhos de levantamento (plantas, alçados, cortes, etc.) em que a geometria do edifício é identificada.

Manutenção - Um conjunto de actividades tendo em vista a conservação de um bem.

Paredes Compostas – Alvenaria feita de panos de diferente constituição (a mais comum é a alvenaria de três panos, feita com dois panos exteriores e um núcleo interior irregular).

Património Arquitectónico n. – Construção e conjunto de construções (cidades, etc.) de valor histórico. Ver *Construção*.



ICOMOS
COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA A ANÁLISE E
RESTAURO DE ESTRUTURAS DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO

Pedras naturais – Pedras naturais formadas por processos geológicos, usualmente, consistindo numa mistura de minerais.

As pedras naturais podem ser agrupadas de acordo com a sua origem em magmáticas, metamórficas e sedimentares (arenito, calcário, etc.). As pedras naturais são diferentes pela origem, se a sua composição não foi alterada pelo homem.

Reabilitação – Processo para adaptar uma construção a um novo uso ou função, sem alterar as partes da construção que são significativas para o seu valor histórico.

Refechamento de Juntas – Resultado da reparação ou restauro de uma junta deteriorada. Pode ser homogéneo da junta existente ou ser feito de um material diferente (e.g. cimento polimérico).

Reforço – Intervenções para aumentar a capacidade de carga de uma construção.

Relatório de Avaliação – Um relatório que define de forma específica os aspectos subjectivos envolvidos na avaliação da segurança, tais como incertezas nos dados admitidos, e as dificuldades numa avaliação precisa dos fenómenos que podem conduzir a conclusões de fiabilidade incerta.

Restauro – Processo de recuperar a forma de uma construção de acordo com a imagem de determinado período de tempo com recurso à remoção de trabalhos adicionais ou substituição de trabalhos posteriores em falta.

Terapia – A escolha de medidas de reparação (armadura, reforço, substituição, etc.) como resposta ao diagnóstico. Ver *Anamnese, Controlo, e Diagnóstico*.

Tijolo n. – Um tijolo é uma unidade de alvenaria, normalmente de barro vermelho, podendo ser cozido ou simplesmente seco ao sol.



ICOMOS
COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA A ANÁLISE E
RESTAURO DE ESTRUTURAS DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO

Tijolo Cozido – O tijolo cozido é um material cerâmica obtido pela preparação, moldagem (extrusão) da matéria-prima (barro) e subsequente secagem e cozedura a temperaturas adequadas.

Tipologia Estrutural – Os tipos de estruturas interpretados no que respeita ao seu comportamento estrutural e à sua capacidade para suportar cargas.

Valor Patrimonial – Valor arquitectónico, cultural e / ou histórico atribuído a uma construção ou local. O valor patrimonial pode ter definições e importância variáveis de uma cultura para outra.



ICOMOS
COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA A ANÁLISE E
RESTAURO DE ESTRUTURAS DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO